

製鐵用回轉爐の内張煉瓦の侵蝕に関する二,三の實驗

著者	高橋 愛和, 門間 玄悟
雑誌名	東北大學選鑛製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	8
号	1
ページ	59-65
発行年	1952-09-10
URL	http://hdl.handle.net/10097/32115

製鐵用回轉爐の内張煉瓦の侵蝕に関する二、三の實驗

高橋 愛和* 門間 玄悟**

Experiments on Erosion of Lining of the Rotary Kiln in Krupp-Renn Process.
By Yoshikazu TAKAHASHI and Gengo MONMA.

Laboratory tests were carried out on the erosion of chamott and silica brick with the Luppe-slag, in order to investigate the eroding action of it on the refractory lining of the rotary kiln in the Krupp-Renn process. Statical and rotating tests were accomplished at the temperature range of 1,350°~1,450°C, at the rotating rate of 100~300 r. p. m. and for interval of 2~4 hr.

The results obtained from these tests showed that the erosion of the fire brick was caused rather by the dynamical element of the abrasion than by chemical reactions. In this experiment, fluidity of the slag and rotating rate were much effective in the eroding action, and the maximum erosion rate was obtained in the case of 1,400°C and 300 r. p. m. Under our experimental conditions, silica brick was more resistant against eroding action than chamott brick in rotating tests.

(Received Jun. 9, 1952)

1. 緒 言

貧鐵、特に珪酸質粉鐵鐵の處理方法として考察せられたクルップレン法は¹⁾²⁾³⁾歩留りの不良、硫黄除去の困難、煉瓦の破損、侵蝕による連續操業の困難等色々改良さるべき點を有してゐる様に思はれるが、一方良質のコークスを必要とせず、微粉炭、或はコークスブリーズ等燃料並びに還元剤の要求の比較的高くないことは、特に珪酸質の低品位鐵石に適すると云ふ利點と相俟つて、我が國の如き強粘結性石炭の乏しい事情の下にあつては十分考慮されるべき方法である様に思はれる。筆者は不幸にしてクルップレン法に就いて、その詳細を知らないが、最近の報告に依れば⁴⁾高アルミナ質煉瓦を用ひて長さ 60 m、直徑 3.6 m の爐で 6 ヶ月の連續操業が可能となり、その能力を更に大きくする可能性も示唆せられてゐる。この方法を高爐と併用して熱選鐵の手段として利用するとか、銑鋼一貫作業の一部としてその能率化を計るとか、この方法の適用には色々考慮しなければならぬ點があり、又技術上の點についても尙種々改良の余地があるであろうが、その實態をよく把握し、研究して、その特長を誤りなく、活用して行くことは常に留意さるべきことであろうかと考へられる。今茲にはそれ等に立入ることは出来ないが、從來この方法の最も大きな缺陷の一つとされている内張煉瓦の侵蝕に關して、聊か實驗することになつたので、茲にその結果を報告して批判を仰ぐ次第である。

2. 實驗の目的及び實驗條件の撰定

煉瓦の侵蝕に關する實驗は、從來靜的な化學的熔蝕とも考へられるべき作用について行はれ、動的な要素を加味したものに於ては不幸にして余り報告を見ない。クルップレン法の内張煉瓦の耐蝕性に關しても、吉木⁵⁾の報告があるが、それも靜止の狀態に於て耐蝕試驗が行はれ、その試料について岩石學的觀察を行つたものである。然し乍ら回轉爐の内張煉瓦の侵蝕の場合には、回轉に依る摩擦抵抗等磨耗による影響が大いに支配するであろうことは、容易に想像される所であるが、實驗上の困難の爲實施され難かつたものであらう。そこで筆者は先づかゝる磨耗損失を加味せる實驗方法を考案し、幾分でも實際操業に近い條件に於て試驗を行ふこと、而してかゝる實

選鐵製鍊研究所報告 第 137 號

* 東北大學選鐵製鍊研究所

** 現日本鋼管株式會社

1) Johansen, F.: Stahl u. Eisen, 54 (1934), 939.

2) Lehmkuhler, H.: Stahl u. Eisen, 59 (1939), 1281.

3) Durrer, R.: 淺井譯: 熔鐵爐によらざる製鐵法 (1950), 36~42.

4) Henry, P. E., C. F. Ramseyer and J. R. Miller: Iron Steel Eng. 28. (Feb. 1951), 66.

5) 吉木文平: 窯協, 48 (1940), 3.

実験条件の相違に依つてどの程度の差異を生ずるかを検討して見ることにした。勿論装置の不備、設備の限定等もあつて、決して満足すべき方法とは云へないけれど、昭和25年1月から約1年間に亘つて行つた結果を報告する。

筆者は川崎製鐵久慈工場に於て操業中の試験爐を参考として豫備実験を行ひ、次の如く実験条件を撰定した。

1) 実験温度

ルッペ帯に於ける操業温度は $1,200^{\circ}\sim 1,300^{\circ}\text{C}$ と云はれて居る。従つてこの温度範囲に於て実験することが好ましいが、かゝる温度に於ては回轉摩擦に依る侵蝕には頗る長時間を要することは、實際操業に於ける侵蝕量がせいぜい $1.0\sim 2.0\text{ mm/day}$ に過ぎないことから理解出来る。更にかゝる温度に於ては未だ鑛滓の粘性大にして、回轉実験の場合には、適當な速さにて回轉させることが困難であり、更に煉瓦試料の折損、鑛滓と煉瓦試料との共廻り等、好ましくない現象を生ずる爲実験温度範囲として、 $1,350^{\circ}\sim 1,450^{\circ}\text{C}$ を撰んだ。

2) 保持時間

本実験に於ては保持時間も成可く長時間に擴張して実施するのが望ましいが、使用せる高周波誘導爐が連続 4 hr 以上稼動することが困難であるので、2 hr を基準として撰び、保持時間の影響を見る爲 2~4 hr に亘つて実験した。

3) 回轉速度

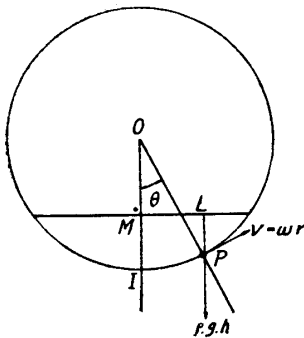
回轉爐に於て鑛滓の内張煉瓦に實際に働く摩擦力は煉瓦と鑛滓との接觸面上に作用するものである。今この力を單純化して考へると次の如きものであらう。即ち鑛滓と煉瓦の接觸面上の任意の一點 P に於て働く摩擦力を F とすると、第1圖に於て

$$F = \rho g h \cos \theta \cdot \mu$$

但し ρ は鑛滓の比重、 h は P より鑛滓表面迄の垂直距離 (LP)、 θ は OP と OI との夾角、 μ は動摩擦係数を示す。

$$\mu = \phi(\eta \cdot \omega r)$$

η は鑛滓の粘性、 ω は回轉の角速度、 r は爐の半径



第1圖

依つて(1)式は

$$F = \rho g h \cos \theta \phi(\eta \cdot \omega r)$$

垂直線下の接觸面 I に於ける摩擦力 F_0 は

$$F_0 = \rho g H \phi(\eta \cdot \omega r) \quad H: \text{鑛滓の深さ}(MI)$$

$\eta \cdot g$ は温度が一定ならば一定、 ϕ は温度一定ならば ωr に比例するものと考へられる。故に

$$F_0 = KH \omega r$$

対象とせる試験爐に於ては、 $H = 35\text{ cm}$ 、 $\omega = 1\text{ r. p. m.}$ 、 $r = 75\text{ cm}$ と推察される。今実験条件として $H' = 4\text{ cm}$ 、 $r' = 1.0\text{ cm}$ を與へれば一應同一の摩擦力を得る爲には

$$\omega' = 655\text{ r. p. m.}$$

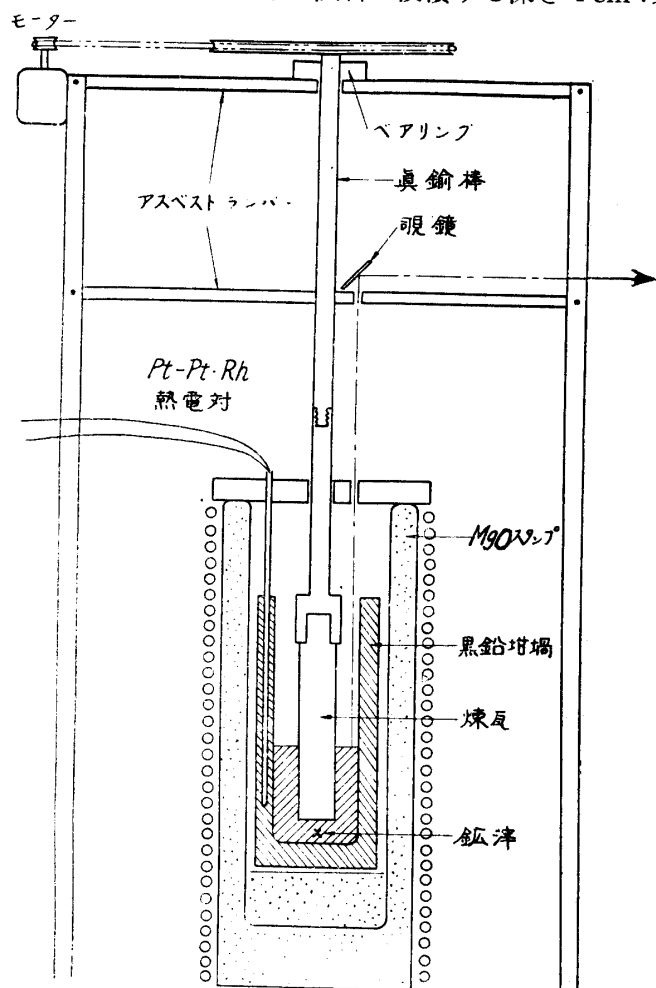
勿論この數値は一應の目安に過ぎないが、かゝる速い廻轉速度の下に於て実施することは困難である。

今同一の周速度を與へる様にすれば、上述の數値より容易に $\omega' = 75\text{ r. p. m.}$ を得る。従つて本実験に於ては之を基とし $100\sim 300\text{ r. p. m.}$ の範囲に於て実施した。

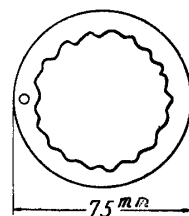
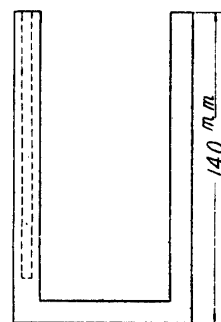
3. 実験装置及び試料

當研究所には本試験に適するタンマン爐なき爲、テコランダム發熱體を用ひた爐を試作したが、満足すべき結果が得られず高周波誘導爐を使用した。坩堝も最初は鑛滓中の酸化鐵の影響を見るべく考慮したが、實際問題として使用鑛滓中には7~8%のコークス粉が介在して居りその除去も困難であつた爲、既に炭素飽和の形になつてゐるとして、黒鉛坩堝を使用した。装置の略

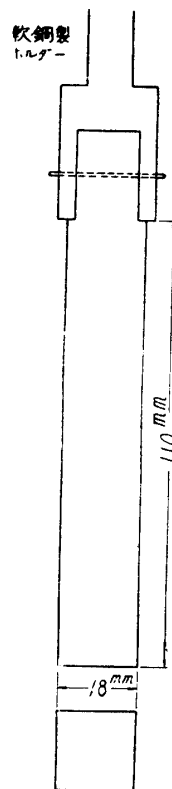
圖を第2圖に示す。回轉には 1/12 HP のモーターを使用した。坩堝は電極棒より第3圖に示す如き形に削り出した。坩堝の内壁は鑛滓が試料と共廻りするのを防止する爲、圖に示す如く菊花狀に凹凸を附けた。又坩堝の壁に孔をあけてその中に熱電對用保護管を挿入し、Pt-Pt-Rh を時々挿入して測溫した。煉瓦試料の浸漬する深さ 4 cm の範圍に於て $\pm 5^{\circ}\text{C}$ の均一性を得た。



第2圖 廻轉試驗裝置



第3圖 黒鉛坩堝形狀

第4圖
煉瓦試料形狀

使用せる煉瓦試料としては、久慈工場に於て使用中のシャモット煉瓦、及び珪石煉瓦（並及び

第1表 使用せる煉瓦の性質

	シャモット	珪石(並)	珪石(天井)
S. K.	33.5	32	33
組成	SiO ₂	46.5	93~94
	Al ₂ O ₃	44.0	0.9~1.6
	CaO	—	2.5~2.8
	Fe ₂ O ₃	5.18	1.5~2.8
比重	2.78	2.34~2.37	2.34~2.35
真嵩比	2.18	1.80~1.85	1.85~1.87
氣孔率	21.5	22~25	20~22
耐壓強度	245	200~250	250~300
軟化點	T ₁ =1,320	1,640~1,660	1,650~1,680
	T ₂ =1,485		
	T ₃ =1,570		

第2表 鑛滓成分

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	FeO	MgO	MnO
%	53	16	9	12	6	2.5	0.7

天井用)を用ひた。煉瓦よりカーボランダムを用ひて第4圖に示す如き形に仕上げて使用した。實驗の目的には圓柱形のものがより望ましいと考へられたが、設備のない當研究所に於ては角柱の試料を作るにも多大の勞力を使ひ、從つて試料の數もその製作上大きな制限を受けた。煉瓦の性質は第1表に示す如きものである。

使用せる鑛滓も久慈工場に於ける粒鐵鑛滓を使用した。-20メッシュに破碎して可及的に鐵分を磁選して除去した。その鑛滓の組成は第2表に示す如く鹽基度は頗る低いものである。

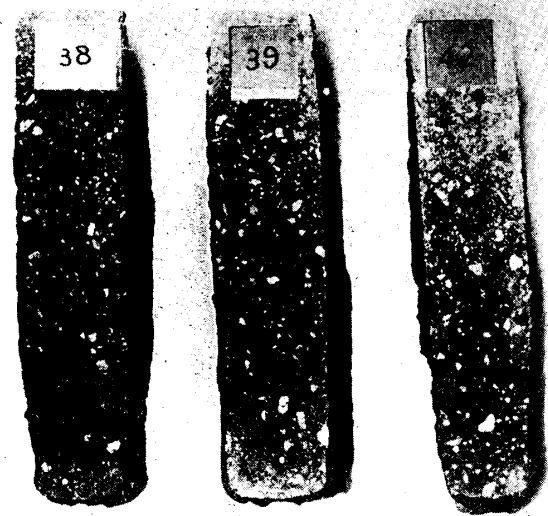
4. 實驗操作

軟鋼製保持棒の先端に取付けた煉瓦を坩堝の中心に裝入し、試料と坩堝との間に豫め秤量せる鑛滓 200 g を充填し、黒鉛の蓋をし爐内を還元性雰囲気中に保ちつゝ、徐々に温度を上昇せしめる。急熱をさける爲、1,200°C 迄上げるに 50 min を要する如くした。所定の温度に達してから計時し、回轉の場合には微動装置を調節して、中心を正しく決定し、更に鑛滓中 4 cm の位置に試料を保持し、モーターを驅動せしめた。

實驗中は時折覗き鏡によつて爐内を觀察し、一定時間毎に試料を引上げて侵蝕状況及び折損の有無を確認した。所定時間に達せる時試料を引上げて附着せる鑛滓を出来るだけ除去し、爐内にて徐冷したが、高周波爐の爲珪石煉瓦の場合には十分スポーリングを避けることが出来なかつた。

使用せる鑛滓は高珪酸質の爲粘性高く、1,300°C に於ては試料と共廻りし易く、1,350°C に於て振れる程度となり、1,400°C 以上に於ては正常な回轉を示した。従つて實驗中屢々鑛滓の小片を鑛滓表面に投下して、共廻りの有無を觀察した。

侵蝕量の決定に當つては本方法に於ては附着鑛滓の除去が困難であつた爲、重量又は容積減少により求めることが出来ず、次の如くした。取出した試料を對角面に沿ふ如く斜めに、カーボランダムを用ひて磨り落し三角柱となつて現れた試料の對角面の面積と侵蝕前の面積との差の百分率を以て侵蝕量とした。尙同面積測定の爲プランメーターを使用した。尙靜止實驗の場合は珪石、シャモット煉瓦何れも侵蝕が行はれず、煉瓦は原形を保持し、鑛滓が煉瓦の割目或は氣孔を通つて侵入擴散し、變質せしめてゐる程度であるのでその侵入擴散の面積に依つて侵蝕量を表はした。寫眞 1 に二、三その侵蝕状況を示す



寫眞 1

5. 實驗結果及び考察

靜止の場合の實驗結果を第 3 表に、回轉の場合の實驗結果を第 4 表に掲げる。

第 3 表 靜 止 實 驗 結 果

實驗番號	種 類	溫 度(°C)	保 持 時 間 (hr min)	侵蝕率(%)	備 考
4	シ ャ モ ッ ト	1,400	3 : 00	0	鑛滓の侵入認められず
5	シ ャ モ ッ ト	1,450	3 : 00	0	
3	並 珪 石	1,350	3 : 00	20	
6	〃	1,350	3 : 00	15	鑛滓の侵入認められず
7	〃	1,400	3 : 00	40	
8	天 井 珪 石	1,400	3 : 00	0	
1	〃	1,450	2 : 45	5	

靜止の場合は勿論、回轉の實驗の場合もその侵蝕量は比較的少い。又試料の數も少く、従つて實驗の回數も少く、且珪石煉瓦に於ては侵蝕後冷却によりスポーリングの現象を生じ、試料の折損著しく、充分侵蝕量を把握出来ぬ憾があつた。従つて、上記の結果をそのまま、定量的に信頼することなく、半ば定性的見地から、侵蝕状況に關して考察を行つて見る。

1) 靜 止 の 場 合

使用せる鑛滓は高珪酸質であるので酸性である珪石煉瓦やシャモット煉瓦に對しては化學的熔

蝕は少い筈である。實驗の結果を見るにシャモット煉瓦は殆んど鑛滓の侵入を許さない。それに比し並珪石煉瓦は可成り侵入を受けて居り、天井用煉瓦も僅か侵入されてゐる。之はシャモット煉瓦が珪石煉瓦に比し緻密で氣孔も細かいことに起因する様に考へられる。とも角 1,450°C 迄の溫度に於ては、シャモット煉瓦、珪石煉瓦何れもルッペ鑛滓に對して化學的熔蝕を受け難いことが確められた。

第4表 回轉實驗結果

シャモット煉瓦					珪石煉瓦 (並)				
實驗番號	溫度 (°C)	回轉數 (r. p. m.)	保持時間 (hr min)	侵蝕率 (%)	實驗番號	溫度 (°C)	回轉數 (r. p. m.)	保持時間 (hr min)	侵蝕率 (%)
16	1,300	150	2 : 00	Tr.	22	1,350	150	3 : 00	3
39	1,350	150	2 : 00	16	27	"	300	2 : 00	26
19	"	200	"	20	21	1,400	150	2 : 00	10
42	"	300	"	28	24	"	200	2 : 00	11
17	1,400	150	1 : 45	30	26	"	200	3 : 00	20
38	"	150	2 : 00	23	30	"	200	4 : 00	28
37	"	200	2 : 00	30	41	"	300	2 : 00	42
31	"	200	4 : 00	30	23	1,450	150	2 : 00	17
40	"	300	2 : 00	42	25	"	200	2 : 00	10
15	1,450	150	2 : 30	12	28	"	300	2 : 00	18
20	"	200	2 : 00	26	* 35	1,400	200	2 : 00	23
* 33	1,400	200	2 : 00	16	** 32	"	"	"	27
* 石灰添加 20% CaO					(天 井)				
** " 30 , CaO					29	1,400	200	2 : 45	Tr
					* 36	1,400	200	2 : 00	10
					** 34	1,400	"	"	20

2) 回轉實驗

靜止實驗に於て示された如く 1,450°C 以下に於ては煉瓦の鑛滓による化學的な熔蝕は頗る僅少である。従つて回轉爐内張煉瓦の侵蝕は回轉磨耗に依る侵蝕が決定的因子であることは容易に了解される所である。

熔滓による煉瓦の磨耗侵蝕試験は其の例少く、回轉に依つてかゝる試験を行つた例を筆者は未だ寡聞にして知らない。實驗結果を考察する前にシャモット煉瓦及び珪石煉瓦の耐磨耗性について考へて見る。吉木⁶⁾の Baudinger 磨耗試験に依る結果に依れば第5表の如くである。

之に依ればシャモット煉瓦は珪石煉瓦に比して常溫に於ては珪石の2倍近く磨耗を受けることが分る。高溫に於ける磨耗試験は余り行はれていない。同氏に依れば熱間耐壓強度に依つてその強弱を類推しても大過ないと云はれている。鐵鋼要覽⁷⁾に依ればシャモット及び珪石煉瓦の熱間耐壓強度は第6表の如くである。

之より明かな如くシャモット煉瓦は 1,100°C 迄溫度と共に強度を増し 1,100°C にて最高を示すが、それを超すと急激に減少する。一方珪石煉瓦は溫度と共に徐々に強度を減ずる。従つて 1,100°C 附近に於てはシャモット煉瓦の方が著しく高いが 1,300°C を超

第5表

材 質	磨耗量 (cc/hr)	磨 耗 比
コルハート黒	34.0	1.0
珪石煉瓦	134.0	3.9
シャモット煉瓦	253.8	7.3

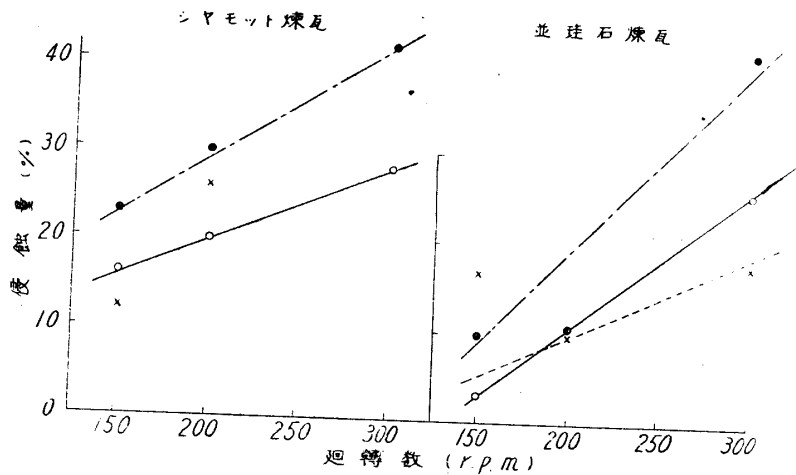
第6表 熱間耐壓強度

溫 度 (°C)	シャモット煉瓦 (kg/cm ²)	珪石煉瓦 (kg/cm ²)
800	280	90
900	330	175
1,000	390	110
1,100	440	110
1,200	230	110
1,300	75	80
1,400	20	50
1,450	10	30

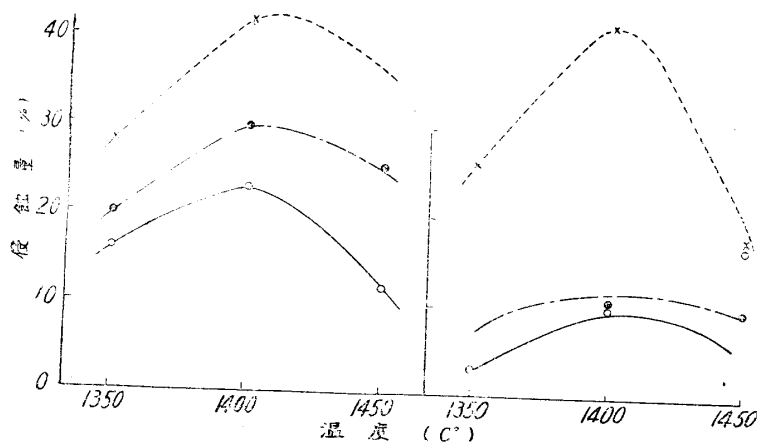
6) 吉木文平：耐火物工學，(1942)，66.

7) 鐵鋼要覽，(1944)，311.

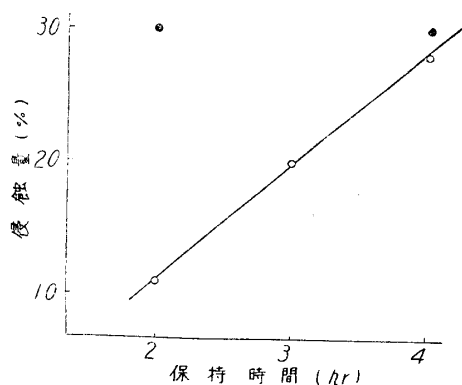
へると逆に珪石煉瓦の方が強くなつてゐる。従つてそれから見ても實驗溫度範圍に於ては珪石の方がシャモット煉瓦より耐摩耗性が強いと云ふことが推測される。



第5圖 回転速度の影響
保持時間 2hr × 1,450°C ● 1,400°C ○ 1,350°C



第6圖 温度の影響
保持時間 2hr × 300 r.p.m. ● 200 r.p.m. ○ 150 r.p.m.



第7圖 保持時間の影響
1,400°C, 200 r.p.m.
○ 並珪石煉瓦
● シャモット煉瓦

i) 回転速度の影響 他の條件が一定ならば煉瓦表面に作用する摩擦力は、角速度に比例する。従つて摩擦力が侵蝕に主導的役割を果たすとすれば角速度の増大に伴つて侵蝕量が増加する筈である。侵蝕量と回転数との關係を圖示すれば第5圖の如くなる。シャモット煉瓦に於ては 1,350°C 及び 1,400°C のものに於て回転数の増加と共に侵蝕率の増加が見られる。珪石煉瓦に於ても 1,450°C 150 r.p.m. の點が高く出てゐるが同様の傾向が見られる。之に依つて見ても摩擦抵抗による侵蝕が可成り顯著であることが分る。

ii) 温度の影響 温度の變化はやゝ複雑な影響を示す。即ち齧滓は温度上昇に依つて著しくその粘性を減少し従つて摩擦力は小さくなることになる。一方温度の上昇により試料表面に於ける其廻りの現象は少くなり従つて試料表面に於ける移動が容易になる。

更に齧滓の化學的な侵蝕力或

は侵透力を増大して煉瓦を侵し易くする一方、煉瓦自體高温になるにつれて強度を減じ耐摩耗性を減じて来る。従つて温度を上昇させた實驗に於ては之等の綜合された影響が現はれることになる。その結果を圖示すれば第6圖の如くである。即ち 1,300°C から 1,350°C, 1,400°C と温度上昇につれて侵蝕率は増加して来るが 1,450°C になると却つて可成り著しい低下が見られる。珪石煉瓦に於ても 150 r.p.m. 1,450°C の點がおかしいが 1,400°C に最大の點が見られる。之より見ると 1,400°C と 1,450°C との間に粘性の著しい變化があり、従つてその影響が顯著に現はれたものと考へられるべく、之からも化學的熔蝕よりも物理的な要素がより大きく影響してゐることが知られる。

iii) 保持時間の影響 高周波誘導爐の能力から 4 hr 以上の實驗は出来なかつた。最も適當と思はれる 200 r.p.m. 1,400°C に於て時間を 2, 3, 4 hr

と變化させて見た結果が第7圖で時間と共に侵蝕量が増大してゐるのが見られる。

iv) 鹽基度の影響 今迄の結果はすべてルッペ鑛滓そのまゝであり従つてその鑛滓は SiO_2 約50%に對し CaO 約10%のものであり、頗る鹽基度の低い酸性鑛滓である。従つて酸性煉瓦である珪石、シャモット煉瓦に對しては化學的熔蝕が少いことは豫想される所である。依つて之に CaO を加へて鹽基度を或程度高めた場合の影響を見たのが第8圖である。珪石の場合は何れもその影響顯著にして鹽基度の上昇と共に著しく侵蝕量を増加する。一方シャモット煉瓦に於ては却つて減少してゐる。之は CaO の添加によつて化學的熔蝕力は増加するが一方鑛滓の粘性は著しく減じさらさらになつて來るので摩擦による磨耗が減少することによつて説明出來る。即ち珪石に於ては鑛滓の粘性の減少に伴ふ摩擦力の減少より鹽基度上昇による化學的熔蝕が優先し、シャモットに於ては鹽基度上昇による化學的熔蝕より摩擦力の減少が優先してゐる爲である。

v) 珪石煉瓦とシャモット煉瓦との比較 以上の結果より見ると、化學的熔蝕が主に働くと考へられる靜止の實驗の場合、實驗の範圍に於ては未だ熔蝕と云ふ所迄は進んで居ないが、珪石煉瓦がシャモット煉瓦に比べて可成り侵蝕され易いと云ふことが見出された。併し乍ら摩擦抵抗に依る磨耗と云ふ要素を加へた回轉實驗に於ては全般的に珪石の方が侵蝕され難い。殊に天井用の珪石煉瓦は著しく強いと云ふ結果を得た。尤も之は高珪酸質である上記ルッペ鑛滓について云へる

ことであつて、鹽基度を高くした CaO 添加の場合には、珪石煉瓦は著しい影響を受けて耐侵蝕性を急激に減少してゐる。以上のことから化學的熔蝕には珪石煉瓦よりシャモット煉瓦が強く、耐磨耗性を入れた物理的侵蝕に於ては珪石煉瓦が強いと云ふことになる。實際問題としてどちらの煉瓦が有利であるか、又操業上例えば鹽基度を増すとか、粘性を變へるとか、尙工夫の餘地があるかどうかには茲で觸れることが出來ないが、以上の結果から幾分なりと回轉爐の場合の侵蝕狀況が明かにされたと思ふ。

6. 總 括

回轉爐の内張煉瓦の侵蝕される原因を考察する爲、靜止及び回轉の侵蝕試驗の方法を實驗室にて考案實施し、珪石煉瓦及びシャモット煉瓦を試料とし、久慈工場に於けるルッペ鑛滓を用ひて侵蝕試驗を行つた。その條件は實際操業の條件を再現したものではなく従つて、その結果を以て直ちに實際操業を批判することは出來ないけれど、實驗の範圍内に於て次のことが確められた。

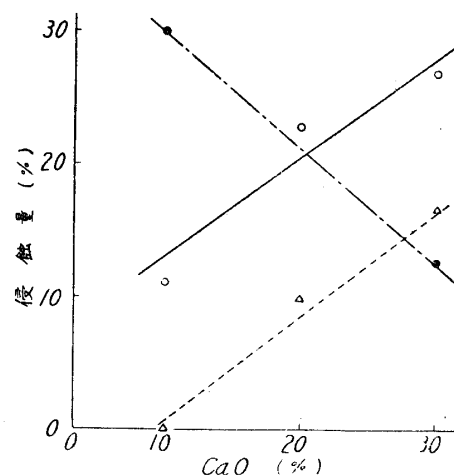
1) 回轉爐内張煉瓦の侵蝕は靜的な化學的熔蝕ではなく、回轉に伴ふ煉瓦の磨耗を加味せる動的な侵蝕作用によつて、主として支配される。従つて回轉爐内張煉瓦の場合にはかゝる高溫に於ける耐磨耗性が十分考慮されねばならぬ。

2) 實驗範圍に於ては珪石煉瓦(殊に天井用煉瓦)はシャモット煉瓦に比して耐侵蝕性が一般に大である。

3) 實驗範圍に於ては最大侵蝕條件は $1,400^\circ\text{C}$, 300 r. p. m. であつた。

以上行つた實驗は、その實驗裝置並びに得られた結果について幾多の不備、不十分の點はあるが、今迄行つた所を纏め、今後かゝる方面への研究に聊かなりともその捨石となることが出來れば筆者の幸甚とする所である。

終りに臨み、實驗の機會と御便宜を賜つた前所長小野教授、御指導を賜つた場教授並びに三本木教授に感謝申し上げます。又實驗の遂行に多大の御便宜と示唆を頂いた久慈工場長山崎氏、更に實驗の遂行に御協力下さつた國井弘道君に感謝致します。尙本實驗は文部省試験研究費に依つて行はれたことを附記して謝意を表します。



第8圖 鹽基度の影響
 $1,400^\circ\text{C}$, 200 r. p. m., 2hr

● シャモット煉瓦
○ 並珪石煉瓦
△ 天井珪石煉瓦